

Tämä tiedosto on luotu osana Erasmus+ -projektia ”Developing Digital Physics Laboratory Work for Distance Learning” (DigiPhysLab).

Lisää tietoa: www.jyu.fi/digiphyslab

Epävarmuuksien analysointia

Ohjaajan versio

1.2.2023



Co-funded by the
Erasmus+ Programme
of the European Union



Tämä työ on julkaistu lisenssillä [Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/).

Epävarmuuksien analysointia – Ohjaajan versio

Työn yleiskuva

- Aihe: Mekaniikka, kiihtyvyys, mittausepätkkuudet
- Kohderyhmä: Fysiikan opiskelijat ja fysiikan opettajakoulutuksen opiskelijat perusopintovaiheessa. Työn avoimuutta voi muokata, joten se soveltuu kaikkiin opintojen vaiheisiin, ks. mahdollisia muunnelmia tämän dokumentin lopussa.
- Ajankäyttö: 2 h sisältäen mittaukset ja analysoinnit. 4 h sisältäen lisäksi ennakkotehtävän, keskustelut ja lyhyen raportin.
- Yhdessä ryhmässä tulee olla vähintään kolme opiskelijaa.

Tätä työtä voi käyttää epätarkkuuden analysoinnin perusteiden opettamiseen tai avoimempana versiona myös epätarkkuuden analysoinnin taitojen soveltamiseen ja niiden kehittämiseen. Tarkoituksena ei kuitenkaan ole saada täsmällisen oikeaa arvoa gravitaatiokiihtyvyydelle. Myöskään työn edistyneemmässä eli avoimemmassa versiossa ei ole välttämätöntä onnistua ryhmän itse määrittelemään tutkimuskysymykseen vastaamisessa. Tarkoituksena on pikemminkin pohtia satunnaisten ja systemaattisten epätarkkuuksien ilmenemistä mittauksissa. Toisin sanoen opiskelijoiden tulee miettiä, millä tavalla jokainen mittalaite (älypuhelin) on keskenään erilainen ja eroavaisuudet voidaan ottaa mittaussuunnitelmassa ja analysoinnissa huomioon.

Työ on melko yksinkertainen toteuttaa ja valvoa. Periaatteessa työn toteuttamisen minimivaatimus onkin vain yksi ryhmä älypuhelimineen. Työtä voi hyödyntää usealla eri tavalla epätarkkuuden analysoinnin eri osa-alueiden opettamiseen joko yliopistolla tai kotitehtävänä. Työstä voidaan myös ottaa ideoita lyhyisiin demonstraatioihin.

Tämän työn yhteydessä on aikaisemmin käyty epävarmuuksien analysointiin liittyviä ryhmäkeskusteluja ja tehty niihin liittyviä lyhyitä tehtäviä. Keskustelut käytiin ja tehtävät tehtiin ennen varsinaiseen kokeelliseen osuuteen siirtymistä. Ennen kuin opiskelijoille annetaan lupa aloittaa kokeellinen työskentely ja varsinaisen aineiston analysointi, ohjaajat voivat pohjustaa satunnaista ja systemaattista epätarkkuutta ja niiden huomioon ottamista haluamansa materiaalin avulla.

Tarvittavat välineet

Älypuhelimet (joissa on kiihtyvyysanturi ja phyphox-sovellus), tietokone kuvaajien piirtämiseen ja aineiston analysointiin.

Mittausvälineenä phyphox-sovellus

Phyphox-sovellus on todella intuitiivinen ja helppo käyttää. Työn avoimessa versiossa opiskelijat voivat valita phyphoxissa mittaustavaksi joko 'Accelerometer with g' tai 'Linear accelerometer', tutkimuksesta riippuen. Vaihtoehdolla 'Accelerometer with g' putoamiskiihtyvyyttä voidaan mitata suoraan, joten se on parempi valinta aloittelijoiden versioon.

Aloittelijoiden versiossa käytetään myös phyphoxin Accelerometer statistics-työkalua, jonka saa sovellukseen lukemalla alla oleva QR-koodi phyphoxilla:



Accelerometer statistics-työkalu voidaan antaa opiskelijoille käyttöön myös työn edistyneemmässä versiossa, jos halutaan perehtyä kiihtyvyyssanturilla tehtäviin mittauksiin ja siitä saatavaan aineistoon. Työkalu mittaa z-suuntaista kiihtyvyyttä ja tekee tuloksista histogrammin. Se myös laskee kerätyn aineiston pohjalta keskiarvon ja keskihajonnan. Opiskelijoita voi pyytää käyttämään histogrammien piirtämiseen myös jotain muuta ohjelmistoa.

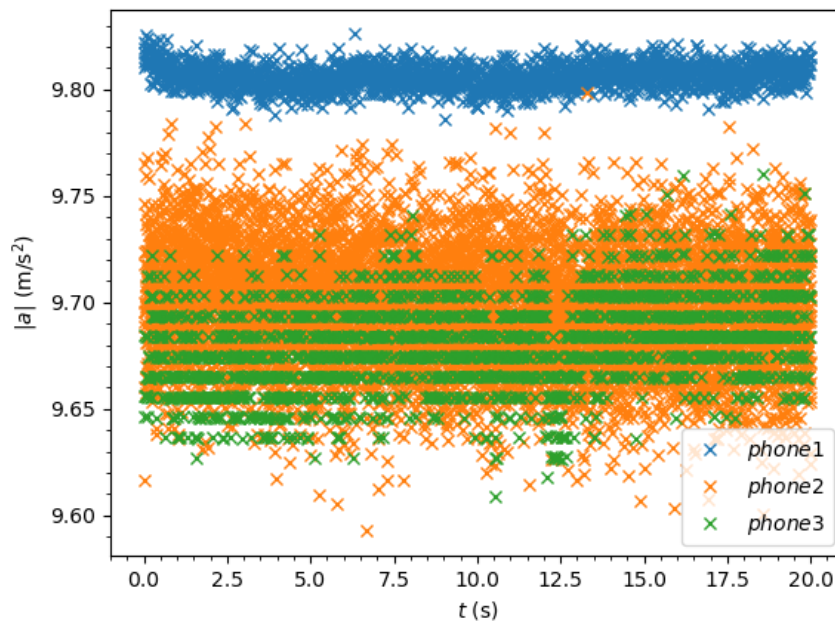
[Esimerkki kokeellisen työn kulusta sisältäen kommentteja ja ehdotuksia](#)

Vaihe 1: Laitteisiin tutustuminen

Tässä vaiheessa opiskelijat tekevät mittauksia niin, että puhelimet ovat tasaisella pöydällä. Reilun vertailun saamiseksi olisi hyvä huomioida esimerkiksi seuraavat asiat:

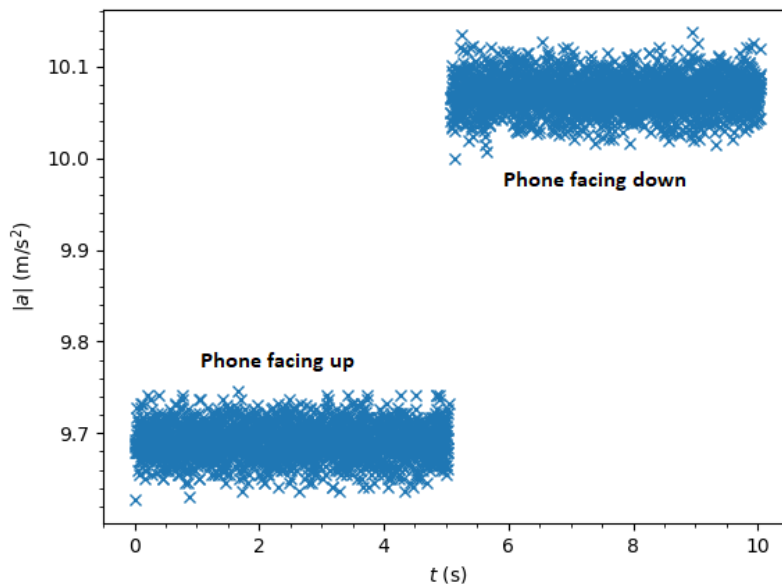
- Puhelimet ovat samalla pöydällä niin lähellä toisiaan kuin mahdollista, jotta ne mittaavat samaa kiihtyvyyttä.
- Puhelimet ovat mittaamisen aikana samassa asennossa keskenään.
- Mittaukset aloitetaan ja lopetetaan vähintäänkin suurin piirtein yhtä aikaa. Mittausten ajastaminen phyphoxissa auttaa.

Opiskelijat voivat saada aikaan kuvaajan, joka näyttää samantyylliseltä kuin Kuva 1.



Kuva 1: Kokonaiskiihtyvyyt mitattuna pöydällä olevilla kolmella puhelimella

Jokaisen puhelimen aineiston keskihajonnasta voidaan tehdä muistiinpanoja, mikäli tulokset eivät ole ristiriidassa keskenään ja mikäli niissä huomataan jotain systemaattisia vaikutuksia. Opiskelijoiden pitäisi myös tarkistaa, vaikuttaako puhelimen asento tuloksiin (usein näin tapahtuukin, esimerkki on Kuva 2).



Kuva 2: Mitattu kokonaiskiihtyvyyt, kun puhelimen näyttö osoittaa ylöspäin (facing up) ja alaspäin (facing down).

Jos kaikki ryhmän puhelimet antavat keskenään todella samanlaisia tuloksia, tämä vaihe työstä ei anna opiskelijoille kovinkaan paljon informaatiota. Silloin heidät voi ohjata pohtimaan sitä, miten he voisivat

käyttää samanlaisia tuloksia hyödykseen kokeellisessa työskentelyssä, jossa he mitattua suuretta määrittäessään tulevat yhdistämään kaikkien puhelimien tulokset.

Vaihe 2: Kokeellinen työskentely

Opiskelijoita, joiden tavoitteena on putoamiskiihtyvyyden mittaaminen, tulee kannustaa tekemään lisää mittauksia ensimmäisessä vaiheessa tehtyjen mittausten lisäksi. Mitä he oppivat ensimmäisen vaiheen kokeiluista? Kuinka he voivat hyödyntää oppimaansa putoamiskiihtyvyyden määrittämisessä? Muistuta opiskelijoita, että eri puhelimien aineistot pitää yhdistää.

“Putoamiskiihtyvyyden oikea ja virallinen arvo g ”TM ei ole tämän työn tärkein tavoite. Tarkan tuloksen saamista tärkeämpää on mittausten suorittaminen mahdollisimman tarkasti käytettävissä olevilla välineillä. Saatua arvoa putoamiskiihtyvyydelle tulee kuitenkin verrata sen taulukkoarvoon systemaattisten virheiden määrittämiseksi.

Mahdollisia muunnelmia

- Ensimmäisen vaiheen (Laitteisiin tutustuminen) lyhyitä tutkimuksia voidaan käyttää myös luennolla suoritettavina nopeina demonstraatioina. Satunnaisten ja systemaattisen epätarkkuuden käsittelyssä voi hyödyntää kuvia (esim. kuvien Kuva 1 ja Kuva 2 kaltaiset kuvat).
- Tämä työ voidaan toteuttaa myös avoimempana versiona, joka soveltuu perusopintovaihetta edistyneemmille laboratorioskursseille. Tällöin tehtävänanto vaiheen 2 osalta voisi olla esimerkiksi seuraava:
 - Keksikää ryhmässä yksinkertainen tutkimuskysymys, johon voitte vastata mittaamalla kiihtyvyyttä puhelimen kiihtyvyyssanturilla. Suunnitelkaa ja toteuttakaa koe, jolla pyritte vastaamaan tutkimuskysymykseen. Tutkimuksessanne teidän tulee hyödyntää kaikilla ryhmän puhelimilla kerättyä aineistoa. Voitte mitata samaa asiaa kaikilla puhelimilla samanaikaisesti, tai jollain muulla haluamallanne tavalla käyttää kaikkia puhelimia mittauksissa. Tuottakaa keräämästänne aineistosta graafinen esitys ja arvioikaa mittaustulosten epävarmuutta ensimmäisessä tehtävässä tekemienne havaintojen pohjalta. Tuoko suunnittelemanne mittausasetelma tuloksiin uusia systemaattisen virheen lähteitä?
 - Pystyisittekö pienentämään tuloksen epävarmuutta entisestään? Miten? Keksittekö muita tapoja kehittää koettanne? Kokeilkaa ideoitanne, mikäli aikaa jää.